

Vietnam Journal of Marine Science and Technology; Vol. 19, No. 4A; 2019: 1–15
DOI: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/4A/14610>
<https://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>

Study and application of Symphonie model to compute the hydrodynamic processes in the East Sea

To Duy Thai*, Bui Hong Long

Institute of Oceanography, VAST, Vietnam

*E-mail: duythaito@gmail.com

Received: 30 July 2019; Accepted: 6 October 2019

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Hydrodynamic processes in the East Sea have been studied by many Vietnamese and foreign scientists applying the models as advanced tools with low cost and spatial and temporal synchronized dataset to serve their research. However, applying the model to study variability of small and medium structures with very high resolution (a few kilometers) is still challenge for scientists. With the advantages of high quality real-time data, open source hydrodynamic model, and the support from high performance computer (HPC) systems, we have step by step studied and developed the numerical model for study on hydrodynamic fields in the East Sea. The model was validated with high resolution satellite data as well as in-situ data from the ARGO and research vessels. Initial results of the simulation are very good for the surface seawater temperature (SST) field in the East Sea.

Keywords: Symphonie, numerical model 3D, hydrodynamic, SST, East Sea.

Citation: To Duy Thai, Bui Hong Long, 2019. Study and application of Symphonie model to compute the hydrodynamic processes in the East Sea. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 19(4A), 1–15.

Nghiên cứu, ứng dụng mô hình Symphonie tính toán các quá trình thủy động lực trên Biển Đông

Tô Duy Thái*, Bùi Hồng Long

Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

*E-mail: duythaito@gmail.com

Nhận bài: 30-7-2019; Chấp nhận đăng: 6-10-2019

Tóm tắt

Các quá trình thủy động lực trên Biển Đông đã và đang được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước ứng dụng các mô hình như là công cụ tiên tiến, chi phí thấp cũng như có được bộ số liệu đồng bộ về không-thời gian để phục vụ các nghiên cứu của họ. Tuy nhiên để ứng dụng mô hình nghiên cứu các biến động có cấu trúc vừa và nhỏ bằng độ phân giải lưới tính cao cỡ một vài kilomet vẫn đang là thách thức với các nhà khoa học. Với lợi thế có được từ bộ số liệu thực đo chất lượng, mô hình hiện đại mã nguồn mở, cùng sự hỗ trợ từ hệ thống máy tính hiệu năng cao, chúng tôi từng bước nghiên cứu và ứng dụng mô hình để nghiên cứu các trường thủy động lực khu vực Biển Đông. Mô hình đã được thẩm định với số liệu có độ phân giải cao từ vệ tinh cũng như số liệu thực đo từ hệ thống trạm phao tự động và tàu khảo sát. Kết quả thử nghiệm bước đầu mô phỏng rất tốt đối với trường nhiệt độ nước biển tầng mặt (SST) ở Biển Đông trong điều kiện gió mùa.

Từ khóa: Symphonie, mô hình số trị 3D, thủy động lực, SST, Biển Đông.

MỞ ĐẦU

Hiện nay trên thế giới việc áp dụng phương pháp mô hình hóa, đặc biệt là các mô hình với mã nguồn mở ngày càng phát triển do tính ưu việt của phương pháp đó là giảm thiểu nguồn nhân lực và chi phí đo đạc khảo sát thực tế trên một vùng diện tích rộng lớn. Kết quả của mô hình có tính đồng nhất về thời gian và không gian rất phù hợp cho nghiên cứu các quá trình biến động của trường thủy văn-động lực học trên biển theo qui mô mùa, liên mùa... Thời gian để mô phỏng các quá trình này cũng đã được rút ngắn với sự hỗ trợ của hệ thống HPC, do đó kết quả của mô hình hoàn toàn đáp ứng được nhu cầu nghiên cứu của các nhà khoa học. Vấn đề quan trọng nhất của việc nghiên cứu và phát triển mô hình đó là đánh giá và thẩm định kết quả sao cho phù hợp nhất đối với từng khu vực cụ thể, qua đó có thể ứng dụng và triển khai cho nhiều đối tượng cũng như khu vực

tương tự một các hợp lý. Điểm mạnh trong việc phát triển mô hình mã nguồn mở vì có thể rất linh động trong việc thích nghi, hiệu chỉnh các tham số tương ứng với từng điều kiện cụ thể của bài toán đặc biệt là khu vực Biển Đông, nơi chịu ảnh hưởng rất nhiều các ngoại lực tác động. Ứng dụng mô hình 3D mã nguồn mở [1] làm công cụ tiên tiến để nghiên cứu khoa học biển, đặc biệt trong các nghiên cứu về các quá trình thủy động lực, tuy nhiên thách thức lớn đối với các nhà khoa học hiện nay là xây dựng được mô hình có độ phân giải cao mà vẫn có được độ tin cậy lớn do khó khăn về nguồn dữ liệu cũng như máy móc để tính toán. Mô hình thủy động lực có độ phân giải lưới tính cao nhất cho khu vực Biển Đông đã công bố là 3 km [2] nhưng lại thiếu các số liệu ven bờ Việt Nam để so sánh và thẩm định mô hình. Việt Nam cũng có nhiều nhà khoa học phát triển các mô hình để tính toán hoàn lưu Biển Đông từ

những năm 1960–1980 như Nguyễn Đức Lưu (dòng chảy gió), Hoàng Xuân Nhuận (dòng chảy tổng hợp). Đi đầu trong ứng dụng mô hình 3D nghiên cứu ở Biển Đông có Đinh Văn Ưu và nnk., [3] với mô hình cấu trúc ba chiều (3D) hoàn lưu và nhiệt muối Biển Đông. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung [4] đã phát triển mô hình 3D cho tính toán dòng triều vịnh Bắc Bộ, hay Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung [5] sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn trong việc tính toán dòng triều ở cụm đảo Song Tử, Biển Đông. Thêm vào đó, Bùi Hồng Long, Phạm Xuân Dương [6] sử dụng mô hình ROMS cho tính toán dòng chảy theo mùa ở vịnh Nha Trang. Nguyễn Minh Huân và nnk., [7] phát triển mô hình ba chiều mã nguồn mở POM cho nghiên cứu trường thủy văn động lực Biển Đông. Điểm hạn chế chung của các mô hình này là độ phân giải đạt ngưỡng một vài kilomet vẫn đang là một thách thức lớn, do hệ thống máy tính hiệu năng cao (HPC) chưa thực sự mạnh để giải quyết bài toán vì cần nhiều thời gian để tính toán.

Trên cơ sở số liệu đã thu thập, với sự hỗ trợ tính toán của hệ thống Server mạnh bao gồm khoảng 3.000 nhân CPU, chúng tôi từng bước nghiên cứu và phát triển các công cụ, kỹ thuật hiện đại (phương pháp mô hình số 3D độ phân giải cao) để tính toán các quá trình thủy động lực trên Biển Đông nhằm cung cấp thêm bộ công cụ mô hình có độ tin cậy cao và có thể ứng dụng cho nghiên cứu trường thủy văn động lực ở khu vực Biển Đông chính xác hơn. Việc phát triển, áp dụng mô hình số mã nguồn mở là rất cần thiết, góp phần nâng cao vị thế nghiên cứu phát triển mô hình của Việt Nam, cũng như bảo vệ môi trường biển cho khu vực Biển Đông. Kết quả mô hình tốt sẽ là tiền đề cho việc xây dựng và phát triển mô hình tích hợp để nghiên cứu các quá trình tương tác trong Hải dương học như vật lý - sinh địa hóa...

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Số liệu đo đạc lịch sử

Bộ số liệu tổng hợp về cấu trúc thẳng đứng nhiệt-muối SCSPD14 [8], độ phân giải $0,25^\circ$ ($\sim 27,8$ km).

Bộ số liệu đo đạc thực địa về nhiệt-muối từ tàu ALIS (IRD-Pháp) dọc theo bờ biển Việt Nam trong thời gian từ 29/6–18/7/2014.

Số liệu vệ tinh

Dữ liệu độ phân giải cao về nhiệt độ nước biển tầng mặt (GHRSSST) độ phân giải 6 km. (<ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/ghrsst/L4/GLOB/UKMO/OSTIA/>).

Số liệu về độ cao mực nước dị thường (SLA) từ nguồn số liệu của AVISO (trung tâm lưu trữ, thẩm định và giải đoán ảnh dữ liệu về tính về hải dương học, thuộc Trung tâm nghiên cứu vũ trụ quốc gia Pháp), độ phân giải $0,25^\circ$ ($\sim 27,8$ km). (<http://aviso.altimetry.fr/>).

Dữ liệu về độ sâu

Sử dụng dữ liệu độ sâu từ Bản đồ độ sâu tổng hợp của đại dương (GEBCO_2014) với độ phân giải ~ 1 km: (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/).

Số liệu trạm phao tự động ARGO

Argo là một hệ thống trạm phao toàn cầu trôi nổi tự do, tự động thu thập số liệu về nhiệt độ và độ muối từ tầng mặt xuống tới độ sâu 2.000 m trên đại dương. Tất cả các dữ liệu đều được chuyển tiếp và cập nhật liên tục lên nguồn cơ sở dữ liệu của ARGO (<ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo>).

Phương pháp mô hình hóa

Mô hình SYMPHONIE là mô hình thủy động lực ba chiều mã nguồn mở, được phát triển bởi nhóm các nhà khoa học SIROCCO, Pháp (<http://sirocco.omp.obs-mip.fr>). Mô hình đại dương ven bờ sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để giải hệ phương trình chủ đạo dựa trên các tính chất bảo toàn năng lượng thủy tĩnh và Boussinesq [9]. Sử dụng hệ tọa độ sigma và xây dựng hệ thống lưới tính cong trục giao độ phân giải cao. Kết quả mô hình đã được thẩm định và đã được sử dụng thành công cho nghiên cứu các quá trình hải dương học tại các vùng biển như: Sự hình thành các khối nước tại thềm lục địa và biển khơi [10, 11], sóng nội, tương tác sóng-dòng trong vùng biển Địa Trung Hải. Các nội dung chính trong mô hình được mô tả tóm tắt tại bảng 1.

Điều kiện đầu và biên của bài toán sử dụng nguồn dữ liệu bao gồm các giá trị trung bình ngày (COPERNICUS, $1/12^\circ$); lực khí áp bề mặt với tần suất ba giờ (ECMWF, $1/8^\circ$); lực thủy triều (FES2014b, $1/16^\circ$); Các giá trị trung bình tháng lưu lượng nước sông bao gồm 10 con sông chính từ hệ thống sông Hồng và sông Cửu Long trong toàn miền tính.

Bảng 1. Mô tả tóm tắt các sơ đồ số trị sử dụng trong mô hình

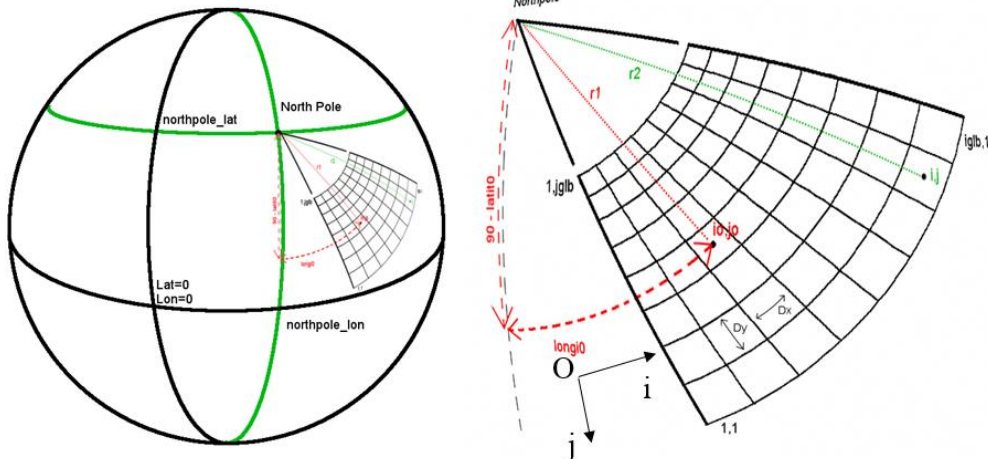
| Nội dung chính | Phương pháp tính toán | Tài liệu tham khảo |
|--|--|--------------------|
| Phương pháp số trị | Sai phân hữu hạn, lưới Arakawa-C, hệ tọa độ sigma, định luật bảo toàn năng lượng | [9] |
| Bước thời gian | Sơ đồ Leap-Frog + Bộ lọc Laplacian | [12] |
| Gradient áp suất | Áp suất Jacobian | [13] |
| Phương trình trạng thái | Mô phỏng theo McDougall (2003) | [14] |
| Điều kiện biên mở | Điều kiện bức xạ | [15] |
| Thông lượng biên khí và các điều kiện biên tại bề mặt biển | Phương pháp Bulk và điều kiện biên Craig & Banner | [16] |
| Xáo trộn kín | Động năng xoáy theo Gaspar (1990) hoặc hệ số epsilon K | [17] |
| Thủy triều | Thế năng triều và lưới lồng TUGO | [18] |
| Sông | Điều kiện biên hồng | [19] |

Xây dựng lưới tính cho mô hình

Mô tả lưới tính trong mô hình

Mô hình Symphonie có thể xây dựng lưới theo kiểu đơn/lưỡng cực cong trục giao. Tùy thuộc vào địa hình đường bờ khu vực nghiên cứu mà xây dựng dạng lưới cho phù hợp với miền tính. Đối với lưới đơn cực (hình 1), khi xây dựng một lưới tính trong mô hình, cần chọn tọa độ (kinh độ, vĩ độ) giả định là cực Bắc mới để tham chiếu đến điểm có tọa độ (i_o, j_o)

của lưới tính. Độ phân giải của lưới tính được xác định bằng tham số dx và dy . Như vậy độ phân giải càng cao khi điểm lưới gần cực và giảm dần tuyến tính khi xa cực. Điều này rất có lợi trong trường hợp vùng nghiên cứu cần độ phân giải cao ở khu vực ven bờ mà không cần thiết ở khu vực xa bờ. Vì thế, sẽ rút ngắn được thời gian tính toán mà không ảnh hưởng đến mục đích nghiên cứu.



Hình 1. Mô tả lưới đơn cực - cong trục giao trong mô hình Symphonie

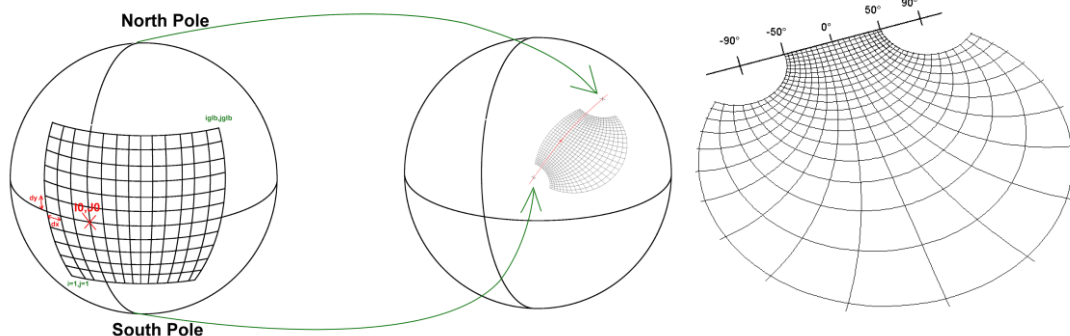
Tương tự như lưới đơn cực, khi xây dựng lưới lưỡng cực cho mô hình tính, cần chọn điểm có tọa độ (kinh độ, vĩ độ) giả định là cực Nam (South Pole) mới (hình 2). Khi đó, tùy thuộc vào địa hình của khu vực nghiên cứu, ta có thể thiết lập vị trí của cực Bắc và Nam mới sao cho các đường kinh tuyến (Oj) và vĩ tuyến (Oi) của tham chiếu mới phù hợp nhất với đường bờ. Lưu ý kích thước của ô lưới theo các

trục Oi và Oj vì khi thay đổi tham chiếu mới nhưng giá trị thực của một tọa độ địa lý vẫn không thay đổi (xấp xỉ 111,12 km).

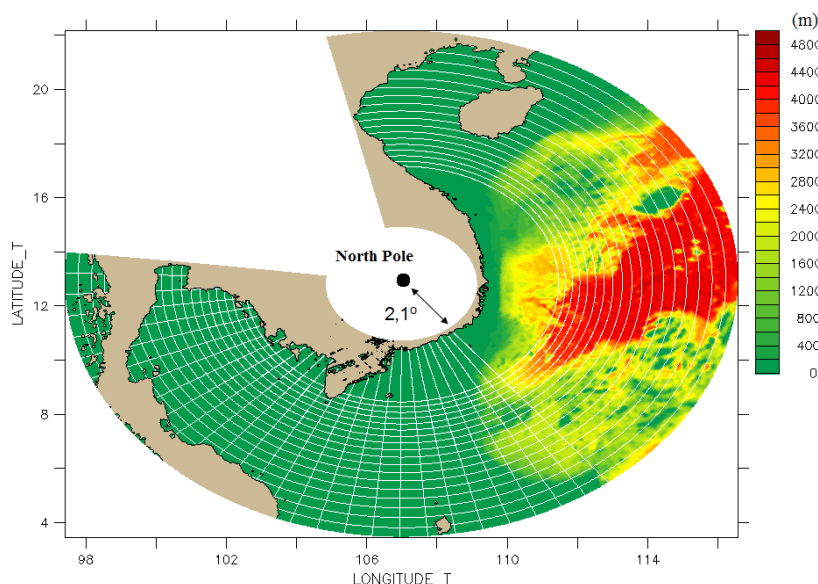
Trong điều kiện cụ thể của bài toán áp dụng cho vùng Biển Đông, Lưới tính của mô hình (hình 3) được tạo từ tổng số điểm lưới theo trục vĩ tuyến của tham chiếu mới (trục Oi) là 1.185 điểm, và theo trục kinh tuyến của tham chiếu mới (trục Oj) là 350 điểm. Độ sâu lớp nước

được thiết lập 50 lớp theo tọa độ sigma từ bề mặt biển xuống đáy. Độ phân giải lớn nhất

được thiết đặt cho miền tính là 1 km (điểm gần nhất với cực Bắc của tham chiếu mới).



Hình 2. Mô tả lưới lưỡng cực - cong trực giao trong mô hình Symphonie



Hình 3. Kiểu lưới trong mô hình Symphonie và trường phân bố độ sâu (GEBCO) áp dụng cho Biển Đông

Thiết kế các điều kiện cho mô hình

Điều kiện biên sông [19]:

Trong mô hình chúng tôi chỉ sử dụng giá trị lưu lượng trung bình tháng của 10 con sông lớn, chủ yếu ở khu vực sông Hồng và sông Cửu Long, Lưu lượng sông (1) được xác định theo tích của thiết diện và vận tốc dòng chảy u :

$$L \int_{-h}^{\eta} u dz = F \quad (1)$$

Trong đó: L là độ rộng của cửa sông; h , η : Độ sâu và độ cao mực nước; F là thành phần lưu lượng (m^3/s).

Điều kiện biên mặt [19]:

Thiết lập điều kiện biên mặt thông qua cơ sở dữ liệu ECMWF. Các biến có giá trị 3 giờ/lần được sử dụng trong mô hình bao gồm: Áp suất khí quyển, các thành phần vận tốc gió tại tầng 10 m trên mực nước biển, nhiệt độ không khí tại tầng 2 m trên mực nước biển, tổng lượng mưa và bức xạ mặt trời (bức xạ sóng ngắn/dài, nhiệt ẩn, nhiệt hiện).

Điều kiện biên mở và biên hồng [15]:

Các điều kiện biên mở trong mô hình SYMPHONIE sử dụng các trường thông số thủy động lực ba chiều (3D) bao gồm các thành

phần của dòng chảy, nhiệt-muối và độ cao mực nước biển (SSH) từ cơ sở dữ liệu COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu>).

Điều kiện ảnh hưởng bởi thủy triều

Thủy triều được tách xuất từ mô hình dự báo thủy triều toàn cầu FES2014 (Finite Element Solution Tidal Model), được phát triển bởi Phòng thí nghiệm nghiên cứu về Hải dương học Địa vật lý và Vũ trụ (LEGOS), NOVELTIS và CLS, độ phân giải $1/16^\circ$ (~ 7 km), bao gồm 34 thành phần triều điều hòa. Tuy nhiên trong mô hình này, chúng tôi chỉ sử dụng 9 thành phần triều chủ đạo bao gồm (M2, N2, S2, K2, K1, O1, P1, Q1, M4). Điểm mới trong mô hình thủy động lực này, chúng tôi có tính đến hiệu ứng tự hấp dẫn chông chéo nhau (Self-Attraction Loading) của toàn bộ nước biển trên toàn cầu từ mô hình thủy triều FES2014. Bản chất triều là sự hấp dẫn giữa các hành tinh với nhau, tuy nhiên bản thân nước trên trái đất có khối lượng và chúng cũng có thể gây ra lực tự hấp dẫn chông lẫn nhau. Hiệu ứng tự hấp dẫn này đã được Gordeev et al., [20] chứng minh có ảnh hưởng đến thủy triều toàn cầu bởi sự thay đổi khoảng 10% về biên độ và khoảng 30% về pha triều và có sự ảnh hưởng khác nhau lên cấu trúc không gian của mỗi vùng thủy triều trên thế giới. Mô hình thủy động lực nghiên cứu Biển Đông gần nhất có tính đến hiệu ứng tự hấp dẫn được Zu et al., [21] ứng dụng cho tính

toán 8 thành phần sóng triều chính (M2, S2, K1, O1, N2, K2, P1, và Q1) dựa theo các nghiên cứu về thủy triều của Ray et al., [22].

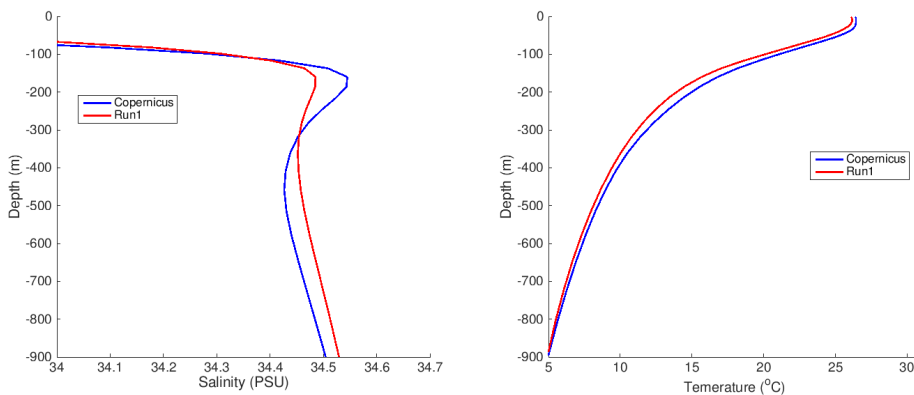
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu, triển khai mô hình thủy động lực 3D mã nguồn mở Symphonie

Hiệu chỉnh mô hình và mô phỏng một vài tham số trong điều kiện thường

Sau khi đã xây dựng được lưới tính và hoàn thiện các điều kiện cho mô hình, chúng tôi tiến hành chạy thử nghiệm mô phỏng một vài tham số trong điều kiện thường để đánh giá kết quả của mô hình cũng như hiệu chỉnh các tham số. Tuy nhiên kết quả nhiệt-muối tại lớp nước 100–300 m chưa thực sự phù hợp với ARGO. Do vậy, cần kiểm tra mô hình (bỏ qua lực thủy triều) để xác định nguyên nhân để hiệu chỉnh mô hình đúng với giá trị thực đo:

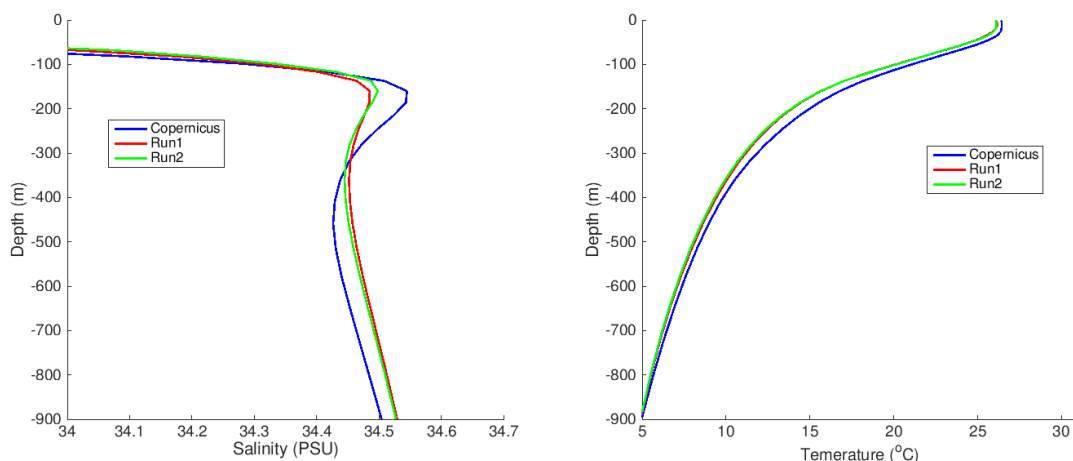
Lần chạy 1: Mô phỏng một năm với các điều kiện mặc định bao gồm: 40 lớp sigma thẳng đứng; thành phần chuyển động bình lưu thẳng đứng và khuếch tán theo phương ngang áp dụng theo sơ đồ QUICKEST. Khi so sánh kết quả mô hình (đỏ) với cơ sở dữ liệu COPERNICUS (xanh), hình 4 cho biết phân bố thẳng đứng của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) có sự sai lệch đáng kể giữa mô hình và COPERNICUS.



Hình 4. Phân bố thẳng đứng trung bình năm toàn miền tính của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) của mô hình (đỏ) và COPERNICUS (xanh dương)

Lần chạy 2: Giảm hiệu ứng của khuếch tán tại thành phần bình lưu thẳng đứng và giữ nguyên hiệu ứng khuếch tán theo phương ngang.

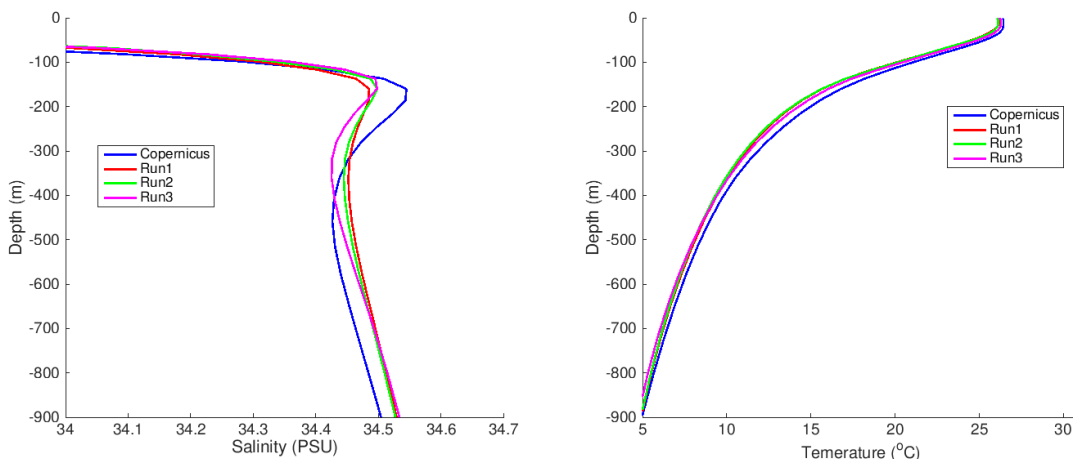
Kết quả tốt hơn một chút so với lần chạy mô phỏng ở lần chạy 1 (hình 5), tuy nhiên độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) vẫn còn khá lệch so với số liệu COPERNICUS.



Hình 5. Phân bố thẳng đứng trung bình năm toàn miền tính của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) của mô hình lần chạy 1 (đỏ), lần chạy 2 (xanh lục) và COPERNICUS (xanh dương)

Lần chạy 3: Giữ nguyên giá trị đã thay đổi theo lần chạy 2 về hiệu ứng khuếch tán thẳng đứng. Trong thành phần khuếch tán theo

phương ngang, thay đổi việc tính toán các giá trị nhiệt-muối theo các lớp nước sigma, bằng các lớp đẳng độ sâu (Z-layer).



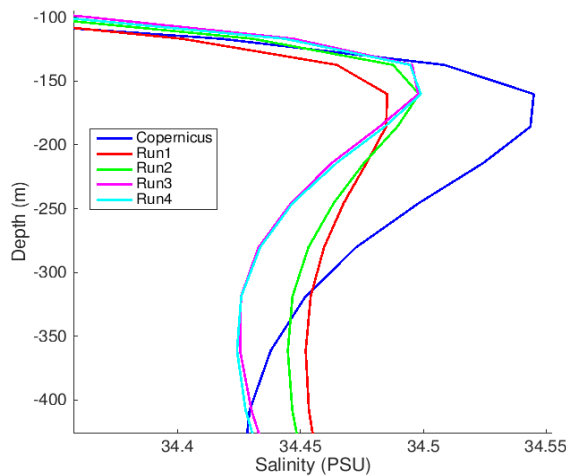
Hình 6. Phân bố thẳng đứng trung bình năm toàn miền tính của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) theo lần chạy: 1 (đỏ), 2 (xanh lục), 3 (tím) và COPERNICUS (xanh dương)

Kết quả trong lần chạy 3 (tím) thể hiện rõ sự biến động của lớp nước cực đại độ muối (trái) ở độ sâu từ 100–150 m (hình 6), tuy nhiên vẫn còn tồn tại sai số về nhiệt độ và độ muối một cách tịnh tiến đối với độ muối (trái) xung quanh độ sâu 400 m. Như vậy, giả thiết đặt ra liệu hiện tượng “mật độ hiệu dụng” (effective density) có thể đã gây ra sự ảnh hưởng đến sự phân bố thẳng đứng của nhiệt-muối thông qua tính toán hàm của mật độ? Có sự sai số nhỏ trong quá trình tính toán mật độ

của nước biển [23] theo công thức của UNESCO 1983 [24] bởi vì nhiệt độ (T) và độ muối (S) có hiệu ứng bù các số hạng khác trong mật độ nước biển, do đó sự biến đổi của nhiệt-muối có thể làm cho mật độ không thay đổi (ví dụ cả T và S đều tăng). Trong trường hợp này, sự khuếch tán của T, S bằng cách nào đó không khả dụng theo quan điểm động lực liên kết với gradient mật độ.

Lần chạy 4: Tiếp tục giữ lại những thay đổi ở lần chạy 3. Loại bỏ những biến đổi của T

và S không bị ảnh hưởng bởi mật độ trong quá trình khuếch tán.



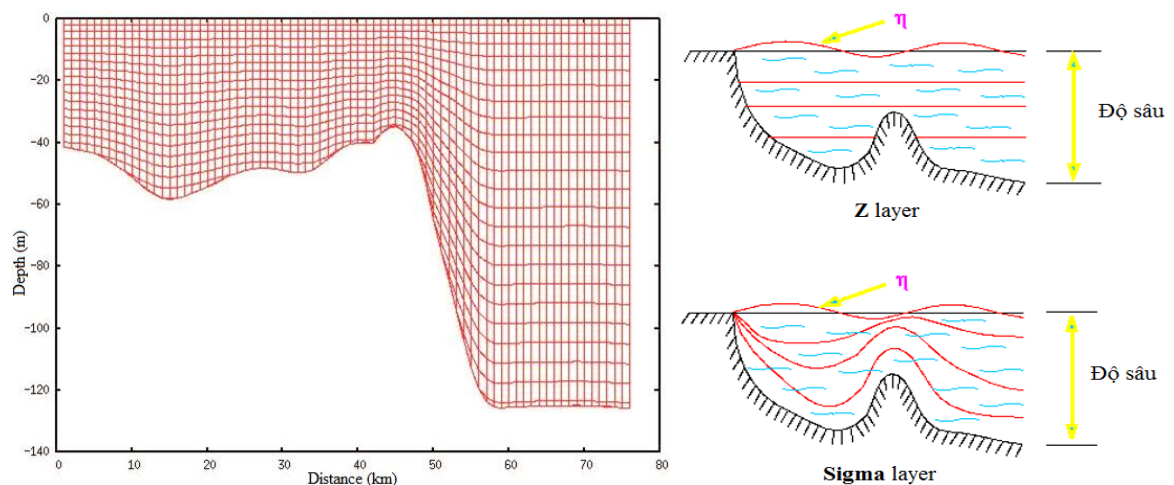
Hình 7. Phân bố thẳng đứng trung bình năm toàn miền tính của độ muối theo lần chạy: 1 (đỏ), 2 (xanh lục), 3 (tím), 4 (xanh lơ) và COPERNICUS (xanh dương)

Có sự thay đổi tích cực trong phân bố thẳng đứng của độ muối trong lần chạy 4 (xanh lơ) ở dưới độ sâu 350 m. Tuy nhiên vẫn chưa đúng với COPERNICUS (xanh dương). Khi chúng tôi tiến hành so sánh một số điểm ở ngoài khơi Biển Đông thì kết quả khá tốt, nhưng khi tính trung bình toàn miền tính thì có sự chênh lệch đáng kể. Vấn đề xảy ra với mô hình có thể liên quan đến lớp độ sâu của từng điểm lưới.

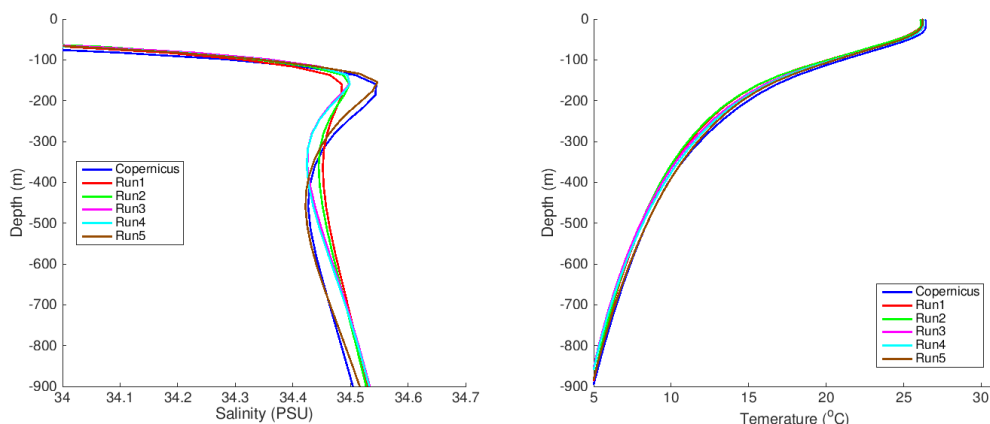
Lần chạy 5: Như đã đề cập trước, vấn đề liên quan đến lớp độ sâu của từng điểm lưới, bởi vì theo hệ tọa độ sigma, khoảng cách giữa các lớp độ sâu thay đổi theo địa hình đáy, nghĩa là điểm tính có độ sâu càng nhỏ thì khoảng cách các lớp rất bé, ngược lại khoảng cách các lớp này sẽ giãn thưa hơn khi điểm có độ sâu lớn hơn. Vấn đề xảy ra ở đây là khi điểm có độ sâu nhỏ, số lớp vẫn không đổi dẫn đến độ dốc của các lớp độ sâu tăng dần, làm cho sự tăng dần của khuếch tán thẳng đứng. Do vậy, chúng tôi điều chỉnh lưới tính theo kiểu kết hợp giữa hệ tọa độ sigma và theo đẳng độ sâu (sigma + Z layer grid). Nghĩa là số lớp độ sâu tại điểm lưới sẽ giảm khi độ sâu giảm (hình 8 (trái)).

Như vậy, trong lần chạy này chúng tôi thay đổi 3 điều kiện so với lần chạy 4 như sau: Kết hợp lưới sigma và Z layer; tăng số lớp độ sâu từ 40 lên 50 lớp; làm mịn hơn trường độ sâu. Kết quả được thể hiện tại hình 9.

Kết quả về phân bố thẳng đứng của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) từ lần chạy thứ 5 có sự khác biệt rõ ràng nhất so với các lần chạy trước. Đường cong gần như gần sát với đường phân bố của COPERNICUS. Đây là kết quả rất đáng khích lệ khi chúng tôi thực hiện rất nhiều các lần chạy tương ứng với những hiệu chỉnh khác nhau. Trong lần chạy cuối cùng, chúng tôi sẽ thêm lực tác động của thủy triều và tiến hành đánh giá, thẩm định mô hình.



Hình 8. Lưới tính kết hợp (trái) giữa hệ tọa độ sigma và theo độ sâu (sigma + Z layer) (phải)

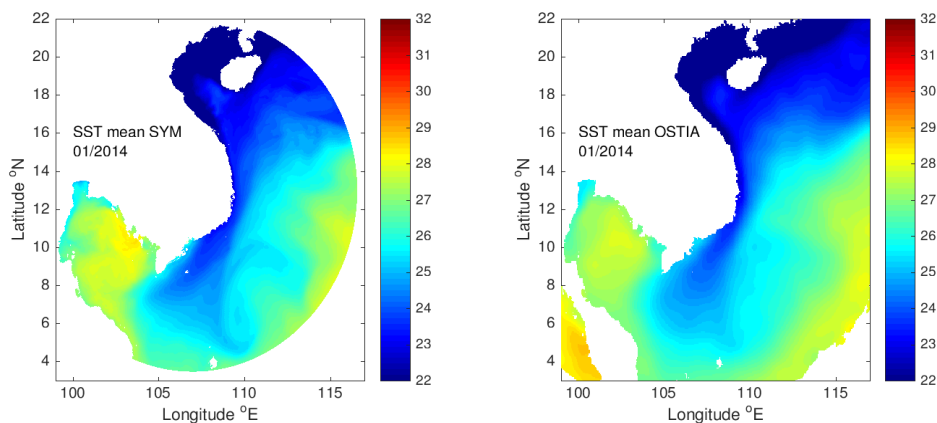


Hình 9. Phân bố thẳng đứng trung bình năm toàn miền tính của độ muối (trái) và nhiệt độ (phải) theo lần chạy: 1 (đỏ), 2 (xanh lục), 3 (tím), 4 (xanh lơ), 5 (nâu) và COPERNICUS (xanh dương)

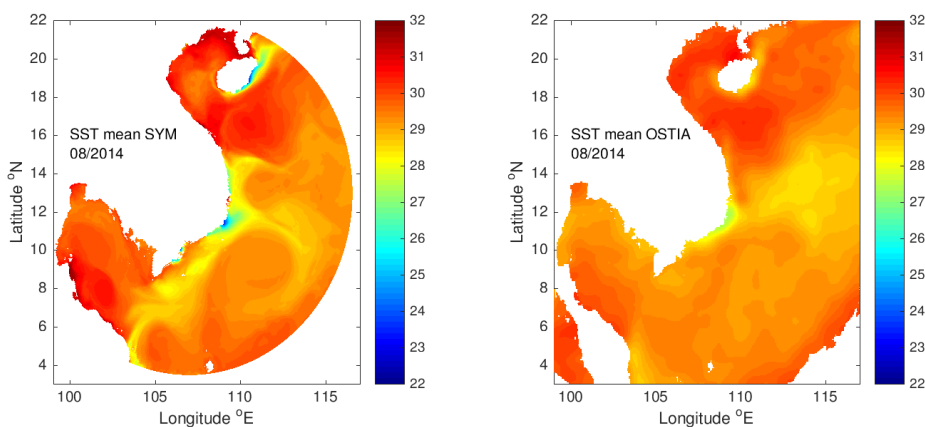
Đánh giá và thẩm định mô hình

So sánh sự tương quan về nhiệt độ nước biển tầng mặt từ kết quả mô hình với số liệu

vệ tinh GHRSSST - OSTIA theo không gian và thời gian.



Hình 10. Nhiệt độ nước biển tầng mặt trung bình tháng 1/2014 từ mô hình (trái) và vệ tinh (phải)

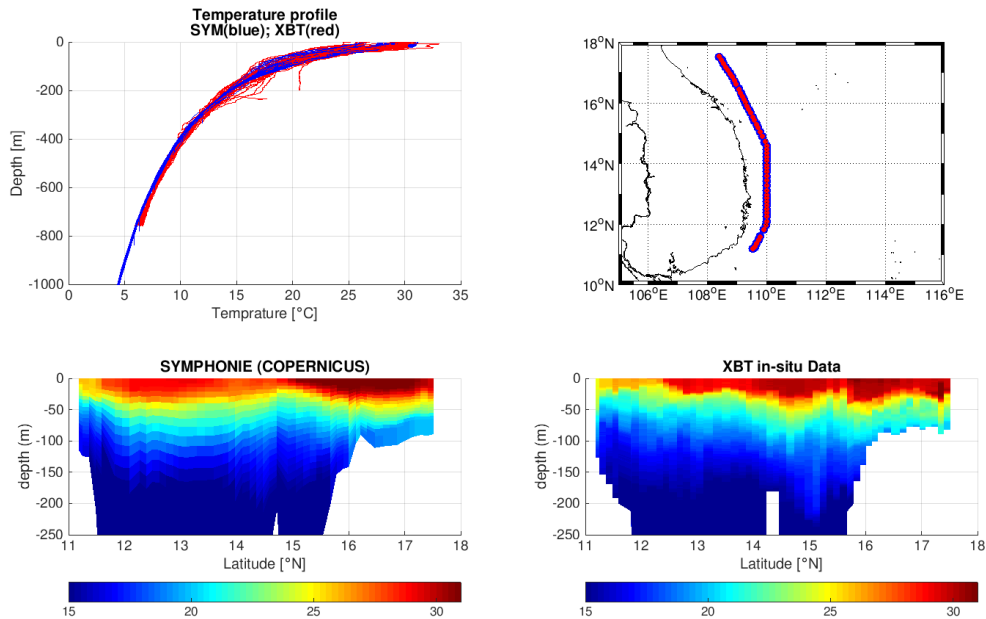


Hình 11. Nhiệt độ nước biển tầng mặt trung bình tháng 8/2014 từ mô hình (trái) và vệ tinh (phải)

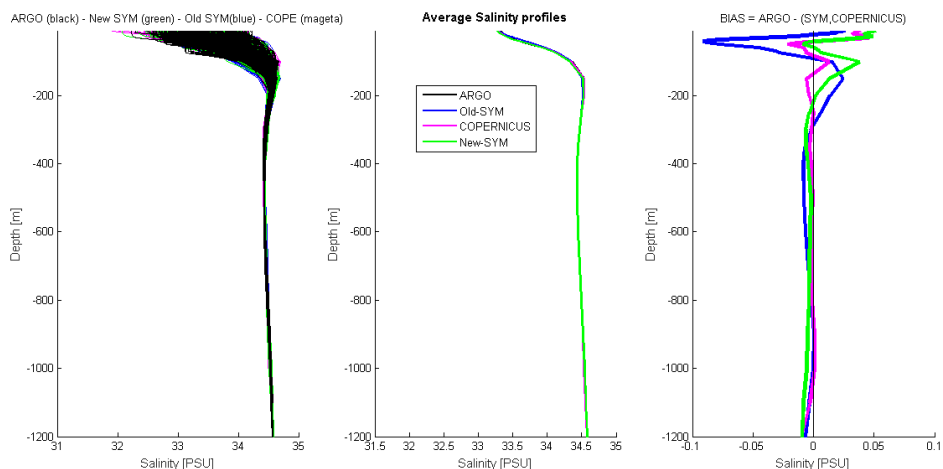
Nhìn chung có sự tương quan về phân bố trường SST giữa kết quả của mô hình với số liệu viễn thám (GHRSSST/OSTIA). Trong tháng 1, lưỡi nước lạnh hơn từ phía bắc Biển Đông đi xuống phía nam do ảnh hưởng của chế độ dòng chảy mùa gió Đông Bắc. Tương tự vào tháng 8 thời kỳ gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh, gây ra hiện tượng SST thấp tại khu vực ven bờ Nam

Trung Bộ Việt Nam. Sự tương quan nhiều từ kết quả mô hình với số liệu SST từ vệ tinh được thể hiện tại hình 10–11 ngay cả trong khu vực vịnh Thái Lan và vịnh Bắc Bộ.

So sánh sự tương quan về phân bố thẳng đứng của nhiệt độ và độ muối từ kết quả mô hình với số liệu thực đo.



Hình 12. Profile nhiệt độ thẳng đứng và mặt cắt ngang từ 52 trạm đo dọc theo vĩ độ bắc 11,2–17,7° giữa mô hình (bên trái) và số liệu thực đo (bên phải)

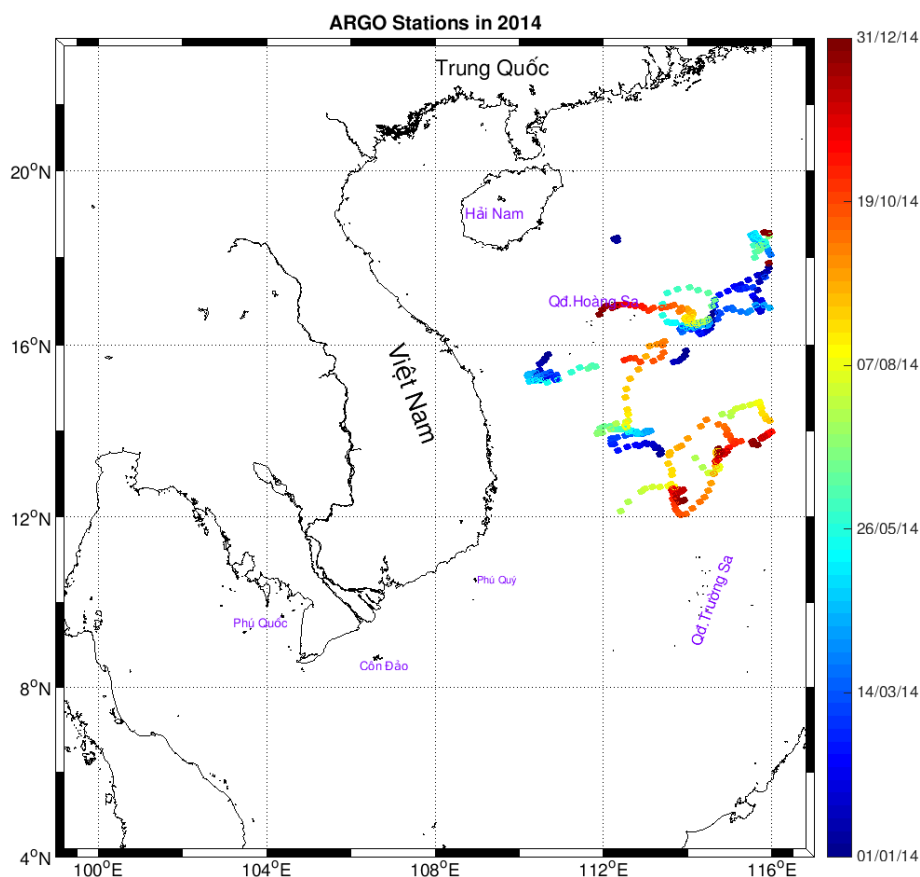


Hình 13. Phân bố thẳng đứng độ muối của mô hình chưa hiệu chỉnh (xanh lam), đã hiệu chỉnh (xanh lục), COPERNICUS (tím) tương ứng với các trạm ARGO (đen) trong năm 2014. Profile tổng cộng độ muối (trái), trung bình (giữa) và độ lệch trực tiếp với ARGO (phải) của các bộ dữ liệu với thực đo

Sự tương quan cao giữa mô hình và số liệu thực đo về phân bố thẳng đứng của nhiệt độ (hình 12) được thể hiện thông qua sự phân tầng của nhiệt độ khá đồng đều giữa hai nguồn số liệu này. Khu vực nhiệt độ thấp tại lớp nước gần bề mặt vùng vĩ độ bắc $11-12^{\circ}$ tại thời điểm khảo sát và lớp nhiệt độ cao hơn ở vùng vĩ độ bắc $15-17^{\circ}$ đều có sự tương đồng về kết quả giữa kết quả mô hình và thực đo.

So sánh sự tương quan về phân bố độ muối thẳng đứng (hình 13) giữa mô hình và số liệu từ

trạm phao tự động ARGO bằng sự chênh lệch trực tiếp (bias) với vị trí các trạm so sánh được thể hiện tại hình 14. Mô hình sau khi hiệu chỉnh đã có kết quả gần như chính xác với COPENICUS, một vài lớp có sai lệch về độ muối rất bé (dưới 0,05 psu) so với ARGO, nhìn chung giá trị độ muối bằng với ARGO. Như vậy mô hình có thể xem như hoàn thiện về phân bố thẳng đứng độ muối sau khi đã có những hiệu chỉnh mang lại kết quả tốt.



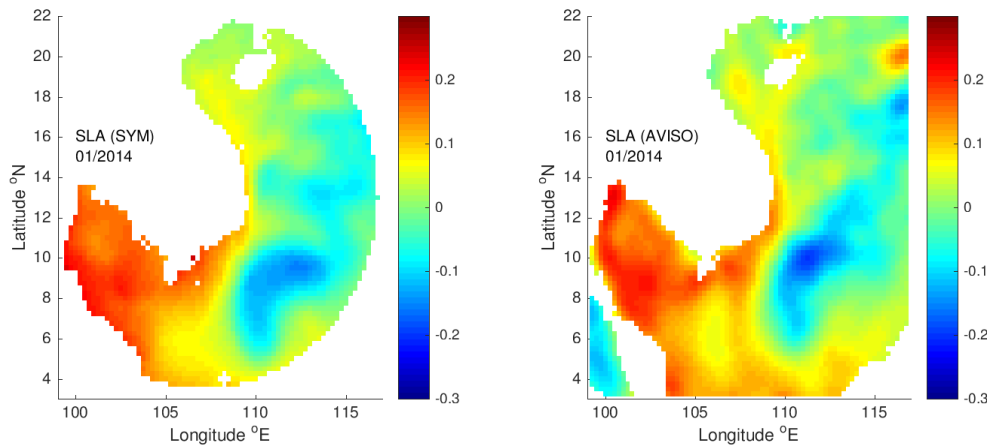
Hình 14. Vị trí trạm phao ARGO (396 trạm) trong vùng Biển Đông năm 2014

So sánh sự tương quan về độ cao mực nước di thường (SLA) từ mô hình với số liệu vệ tinh (AVISO).

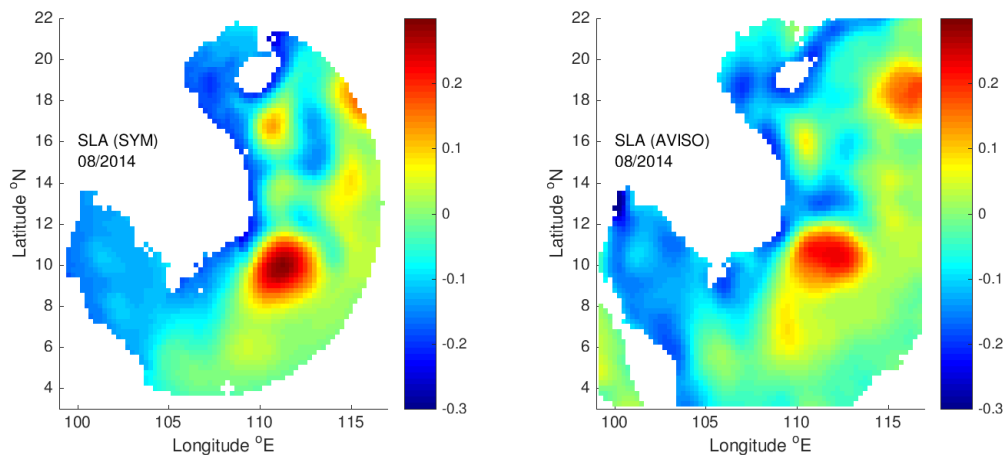
Kết quả so sánh về mực nước biển di thường từ mô hình với cơ sở dữ liệu AVISO được thể hiện tại hình 15–16.

Có sự tương đồng cao giữa SLA trung bình tháng 1/2014 của mô hình và số liệu vệ tinh. Mô hình thể hiện được sự tương đồng rõ nét

nhất là ở khu vực phía nam của trung tâm Biển Đông cũng như dải ven biển Việt Nam bao gồm cả vịnh Bắc Bộ và vịnh Thái Lan. SLA của mô hình vào tháng 8/2014 tại khu vực phía nam Biển Đông cao hơn một chút (đỏ thẫm hơn) so với AVISO, tuy nhiên nhìn chung có sự tương đồng cao rõ nét của mô hình với AVISO ở những chỗ biến động chính của sự phân bố SLA trên Biển Đông.



Hình 15. Mực nước biển dị thường trung bình tháng 1/2014 từ mô hình (trái) và vệ tinh (phải)



Hình 16. Mực nước biển dị thường trung bình tháng 8/2014 từ mô hình (trái) và vệ tinh (phải)

Đặc điểm phân bố trường SST trên Biển Đông từ kết quả tính toán của mô hình

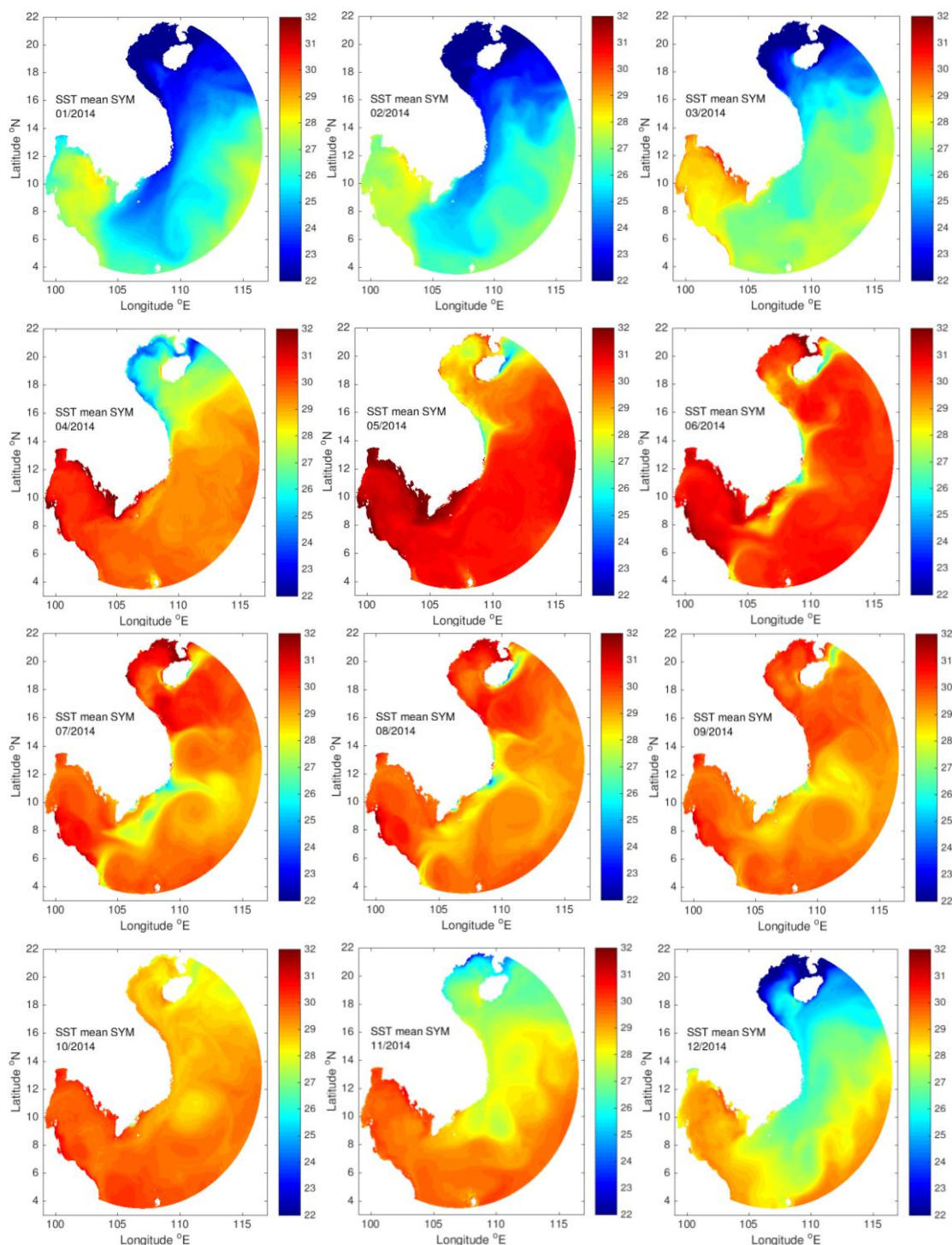
Kết quả mô phỏng trường SST trung bình tháng trên Biển Đông có độ phân giải rất cao, thể hiện rất rõ ảnh hưởng của gió mùa (Đông Bắc và Tây Nam) lên sự phân bố của chúng (hình 17). Chúng tôi chọn thời điểm mô phỏng cho thời gian thực tế là năm 2014 vì trong giai đoạn này trường SST ở Biển Đông không bị ảnh hưởng bởi các điều kiện khí hậu khác như El Niño hay La Niña. Thời điểm tháng 1, 2 dưới tác động gió mùa Đông Bắc, khối nước có nhiệt độ thấp (dưới 24°C) tràn sâu xuống phía nam tại dải ven bờ Việt Nam, trong khi đó SST ở vùng phía nam trung tâm Biển Đông gần với Philippines và bờ tây vẫn khá cao, riêng vùng vịnh Thái Lan có nhiệt độ trên 27°C . Đặc điểm này hoàn toàn phù hợp với đặc điểm biên động

của trường nhiệt độ trong sách chuyên khảo Biển Đông I [25]. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai bờ đông và tây của Biển Đông dần bị thay đổi vào thời kỳ chuyển tiếp của gió mùa (tháng 4, 5). Nhiệt độ khu vực trung tâm Biển Đông tăng dần và đạt cực đại SST vào tháng 5 (khoảng 30°C) và vùng vịnh Thái Lan có nhiệt độ cao nhất vào khoảng $31\text{--}32^{\circ}\text{C}$.

Giai đoạn gió mùa Tây Nam, toàn bộ lớp nước mặt ở ngoài khơi Biển Đông tương đối đồng đều về nhiệt độ (khoảng 29°C) và gần như không có sự khác biệt nhiều. Tuy nhiên, vào thời kỳ này khu vực ven bờ Nam Việt Nam xảy ra hiện tượng nước trôi do hiệu ứng Ekman gây ra [26]. Kết quả mô phỏng trường SST từ mô hình có thể quan sát thời điểm bắt đầu nước trôi vào tháng 6 và kéo dài đến tháng 9 khi gió mùa Tây Nam yếu dần. Ngoài ra bờ đông đảo Hải

Nam cũng xuất hiện hiện tượng nước trời có cùng cơ chế với vùng nước trời Nam Việt Nam, tuy nhiên vùng nước trời này tương đối yếu và

kích thước không rộng như nước trời ven bờ Việt Nam.



Hình 17. Phân bố trung bình tháng của SST trên Biển Đông từ kết quả của mô hình

KẾT LUẬN

Đã áp dụng linh hoạt các điều kiện của bài toán và làm chủ được phương pháp luận. Có khả năng tiếp cận sâu vào hệ thống mô hình mã nguồn mở để hiệu chỉnh các tham số, qua đó từng bước phát triển mô hình, đáp ứng được các yêu cầu nghiên cứu trường thủy văn động lực cho vùng Biển Đông.

Mô hình đã được thẩm định với số liệu độ phân giải cao từ vệ tinh cũng như số liệu thực đo từ hệ thống trạm phao tự động và tàu khảo sát.

Mô phỏng được sự phân bố của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt ở Biển Đông có độ phân giải cao trong điều kiện bị chi phối bởi chế độ gió mùa. Kết quả có sự tương đồng tương đối cao với số liệu quan trắc.

Lời cảm ơn: Chân thành cảm ơn nhóm nghiên cứu SIROCCO, Pháp đã hướng dẫn giúp đỡ tận tình trong quá trình chạy mô hình. Chân thành cảm ơn cố vấn khoa học PGS. TS. Bùi Hồng Long, TS. Lê Đình Mậu và tập thể cán bộ phòng Vật lý biển đã góp ý xây dựng để hoàn thiện bài báo. Bài viết là kết quả nghiên cứu của Đề tài cấp quốc gia “Nghiên cứu một số quá trình tương tác Biển - Khí quyển - Lục địa và biến động môi trường ở Biển Đông với bối cảnh biến đổi khí hậu trong khuôn khổ Chương trình IOC-WESTPAC”, mã số ĐTĐL.CN-28/17.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Blumberg, A. F., and Mellor, G. L., 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Three-dimensional Coastal Ocean Models*, 4, 1–16.
- [2] Daryabor, F., Ooi, S. H., Samah, A. A., and Akbari, A., 2016. Dynamics of the water circulations in the southern South China Sea and its seasonal transports. *PloS one*, 11(7), e0158415.
- [3] Đình Văn Ưu, Đoàn Văn Bộ và Nguyễn Thọ Sáo, 1999. Mô hình 3 chiều (3D) nghiên cứu biến động cấu trúc hoàn lưu và nhiệt muối Biển Đông trong điều kiện gió mùa biển đổi. *Tuyển tập Hội nghị khoa học công nghệ biển toàn quốc lần thứ 4.*, TT KHTN & CNQG, 177–184.
- [4] Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung, 2007. Một số kết quả tính toán dòng triều bằng mô hình 3D cho vịnh Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 7(4), 10–27.
- [5] Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung, 2008. Tính toán dòng triều tại cụm đảo Song Tử bằng phương pháp phần tử hữu hạn. *Hội nghị Quốc gia “Biển Đông 2007”*. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Tr. 735–750.
- [6] Bùi Hồng Long và Phạm Xuân Dương, 2010. Một số kết quả tính toán dòng chảy theo mùa trong vịnh Bình Cang - Nha Trang bằng mô hình ROMS. *Tuyển tập Nghiên cứu biển*, Tập XVII.
- [7] Nguyễn Minh Huân, P. V. Tiên, N. Q. Vinh và nnk., 2015. Nghiên cứu mô phỏng dòng chảy, nhiệt độ và độ muối ba chiều khu vực Biển Đông bằng mô hình POM. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN Khoa học tự nhiên và Công nghệ*, (3S), 147–156.
- [8] Zeng, L., Wang, D., Chen, J., Wang, W., and Chen, R., 2016. SCSPOD14, a South China Sea physical oceanographic dataset derived from in situ measurements during 1919–2014. *Scientific data*, 3, 160029.
- [9] Marsaleix, P., Auclair, F., Floor, J. W., Herrmann, M. J., Estournel, C., Pairaud, I., and Ulses, C., 2008. Energy conservation issues in sigma-coordinate free-surface ocean models. *Ocean Modelling*, 20(1), 61–89.
- [10] Herrmann, M., Somot, S., Sevault, F., Estournel, C., and Déqué, M., 2008. Modeling the deep convection in the northwestern Mediterranean Sea using an eddy-permitting and an eddy-resolving model: Case study of winter 1986–1987. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C4), C04011.
- [11] Herrmann, M., Estournel, C., Déqué, M., Marsaleix, P., Sevault, F., and Somot, S., 2008. Dense water formation in the Gulf of Lions shelf: Impact of atmospheric interannual variability and climate change. *Continental Shelf Research*, 28(15), 2092–2112.
- [12] Marsaleix, P., Auclair, F., Duhaut, T., Estournel, C., Nguyen, C., and Ulses, C., 2012. Alternatives to the Robert - Asselin filter. *Ocean Modelling*, 41, 53–66.

- [13] Marsaleix, P., Auclair, F., and Estournel, C., 2009. Low-order pressure gradient schemes in sigma coordinate models: The seamount test revisited. *Ocean Modelling*, 30(2–3), 169–177.
- [14] Marsaleix, P., Auclair, F., Estournel, C., Nguyen, C., and Ulses, C., 2011. An accurate implementation of the compressibility terms in the equation of state in a low order pressure gradient scheme for sigma coordinate ocean models. *Ocean Modelling*, 40(1), 1–13.
- [15] Marsaleix, P., Auclair, F., and Estournel, C., 2006. Considerations on open boundary conditions for regional and coastal ocean models. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23(11), 1604–1613.
- [16] Estournel, C., Auclair, F., Lux, M., Nguyen, C., and Marsaleix, P., 2009. “Scale oriented” embedded modeling of the North-Western Mediterranean in the frame of MFSTEP. *Ocean Science*, 5(2), 73–90.
- [17] Michaud, H., Marsaleix, P., Leredde, Y., Estournel, C., Bourrin, F., Lyard, F., Mayet, C., and Ardhuin, F., 2012. Three-dimensional modelling of wave-induced current from the surf zone to the inner shelf. *Ocean Sci.*, 8, 657–681.
- [18] Pairaud, I. L., Lyard, F., Auclair, F., Letellier, T., and Marsaleix, P., 2008. Dynamics of the semi-diurnal and quarter-diurnal internal tides in the Bay of Biscay. Part 1: Barotropic tides. *Continental Shelf Research*, 28(10–11), 1294–1315.
- [19] Estournel, C., Broche, P., Marsaleix, P., Devenon, J. L., Auclair, F., and Vehil, R., 2001. The Rhone River plume in unsteady conditions: numerical and experimental results. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(1), 25–38.
- [20] Gordeev, R. G., Kagan, B. A., and Polyakov, E. V., 1977. The effects of loading and self-attraction on global ocean tides: the model and the results of a numerical experiment. *Journal of Physical Oceanography*, 7(2), 161–170.
- [21] Zu, T., Gan, J., and Erofeeva, S. Y., 2008. Numerical study of the tide and tidal dynamics in the South China Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(2), 137–154.
- [22] Ray, R. D., 1998. Ocean self-attraction and loading in numerical tidal models. *Marine Geodesy*, 21(3), 181–192.
- [23] Sanderson, B., Dietrich, D., and Stilgoe, N., 2002. A numerically effective calculation of sea water density. *Marine Models*, 2(1–4), 19–34.
- [24] Fofonoff, N. P., and Millard Jr, R. C., 1983. Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater. Endorsed by Unesco/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards and SCOR Working Group 51. *Unesco Technical Papers in Marine Science*, No. 44.
- [25] Lê Đức Tổ, 2009. Chế độ nhiệt muối Biển Đông. *Chuyên khảo Biển Đông tập I: Khái quát về Biển Đông. Phần III: Đặc điểm khí tượng Thủy văn Biển Đông*. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Tr. 171–183.
- [26] Bùi Hồng Long, 2009. Hiện tượng nước trời trong vùng biển Việt Nam. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.